

POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
E.T.S. de Ingenieros Navales

"LA EXPERIMENTACIÓN HIDRODINÁMICA
FRENTE A LA SIMULACIÓN NUMÉRICA"

Luis Pérez Rojas

XXI CORINNAVIT

Cálculos Hidrodinámicos

38?
(x + y + z
r...)

VERSUS

XXI CORINNAVIT

XXI CORINNAVIT

The winner
is.....

3

¿Qué es un
Canal de
Ensayos?

XXI CORINNAVIT

XXI CORINNAVIT

Sir Francis Bacon
1561 - 1626

- Se podía y debía estudiar el entorno mediante observaciones detalladas y controladas.
- Estas observaciones debían validarse
- Sólo se pueden aceptar las explicaciones que se pueden probar por la observación y la experiencia sensible.

Método Experimental Inductivo

5

XXI CORINNAVIT

Leonardo da Vinci
1452 - 1519

6

Christiaan Huygens
1629 - 1695

7

William Froude

Primer canal de experiencias hidrodinámicas

8

Ley de correlación

$$C_T = \frac{R_T}{\frac{1}{2} \rho S_n V^2}$$

$$C_T = C_F(\Re) + C_R(\Im)$$

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

TIPOS DE CANALES

¿Tamaño?

300 m

100 m

30 m

TIPOS DE CANALES (1)

¿Capacidades?

Canal de aguas tranquilas

Canal de maniobrabilidad (rotating arm)

Canal de seakeeping

TIPOS DE CANALES (2)

TIPOS DE ENSAYO

Ensayos de remolque



Ensayos de autopropulsión



Ensayos del propulsor aislado



Comportamiento en la Mar



Maniobrabilidad



OTROS ENSAYOS (ejemplos)

Tanques Estabilizadores



Ensayos del booster del Ariane



Ensayos de derrame E3



Ensayo de una nacla

Los primeros ordenadores



Manchester May-Scale Experimental Machine (SSEM)
21 de Junio de 1948

Electronic Delay storage Automatic Calculator (EDSAC)
6 de Mayo de 1949



15



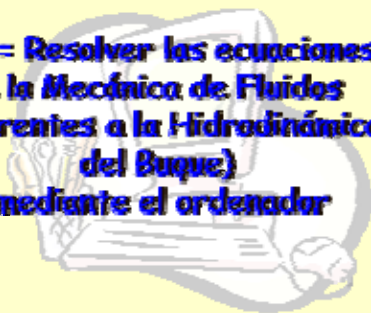
¿Es un ladrón?



O, ¿es un amigo?

16

CFD = Resolver las ecuaciones de la Mecánica de Fluidos (referentes a la Hidrodinámica del Buque) mediante el ordenador



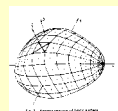
17

Clasificación CFD

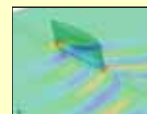
Flujo potencial

Flujo Viscoso

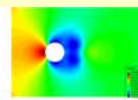
Sin Superficie libre



Con Superficie libre



Sin Superficie libre



Con Superficie libre







Daniel Bernoulli



D'Alembert



Euler

19

Planteamiento del problema: Flujo Potencial

Flujo irrotacional $\rightarrow \vec{V} = \nabla \phi$

Fluido incompresible $\rightarrow \nabla \cdot \vec{V} = 0$

}


$\nabla^2 \phi = 0$

↓

Ecuación de Laplace

+ Condiciones de contorno

Buque + Superficie libre




Flujo Potencial (Condiciones de contorno)

En la superficie "S" del casco $\phi = Ux + \phi_P$

$$V_n = \left. \frac{\partial \phi}{\partial n} \right|_S = 0$$

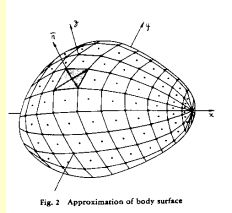
$$\left. \frac{\partial \phi_P}{\partial n} \right|_S = -U \left. \frac{\partial x}{\partial n} \right|_S$$

En la superficie libre

$$\frac{\partial^2 \phi_P}{\partial x^2} + k_0 \frac{\partial \phi_P}{\partial z} = 0 \quad \left(k_0 = \frac{g}{U^2} \right)$$


Método de Hess & Smith


$$\frac{\partial \phi}{\partial n_s} = -2 \pi \sigma(p) + \iint \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r(p, q)} \right) \sigma(q) dS = -\pi(p) V_\infty$$



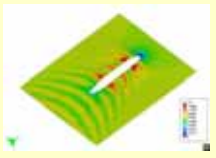
Contribuciones:

- Fórmulas exactas
- Fórmulas aproximadas
 - fuente + cuadrupolo
 - fuente

Fig. 2 Approximation of body surface



El CFD de la ETSIN



- Método de paneles con superficie libre
- Panelización arbitraria de la superficie libre
- Consideración de la popa de espejo
- Lenguaje en C
- El mallador GiD



Flujos viscosos

2º Principio de la Dinámica $\rightarrow m \cdot a = \sum F_{\text{exteriores}}$

F_{ext}

Fuerzas de volumen

Peso(gravedad)

Electromagnéticas

Fuerzas de superficie

Presión

Viscosas

Tensiones normales

Tensiones cortantes

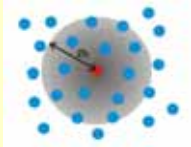
U_i = Componentes velocidad
 p = presión
 ρ = densidad
 μ = viscosidad
 f_i = fuerzas de volumen

$$\rho \left[\frac{\partial u_i}{\partial t} + (\vec{V} \cdot \nabla) u_i \right] = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \nabla^2 u_i + \rho f_i$$

24

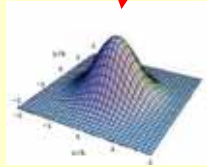
Smooth Particle Hydrodynamics

Interpolación de la presión, densidad y velocidad de una partícula a través de una función "kernel"



→ GRADIENTE :

$$f(r_a) \approx \sum_{b=1}^N f(r_b) W_h(r_b - r_a) \frac{m_b}{\rho_b}$$



$$\nabla f(r_a) \approx \sum_{b=1}^N f(r_b) \nabla W_h(r_{ab}) \frac{m_b}{\rho_b}$$

25

Aplicación de la formulación SPH a las ecuaciones de Navier-Stokes.

Continuidad

$$\frac{d\rho_a}{dt} = \sum_b m_b v_{ab} \nabla W_h(r_{ab})$$

Cantidad de movimiento

$$\frac{dv_a}{dt} = - \sum_b m_b \left(\frac{P_a}{\rho_a^2} + \frac{P_b}{\rho_b^2} + \Pi_{ab} \right) \nabla W_h(r_{ab})$$

Termino de presión

Termino viscoso

26

Calidad CFD

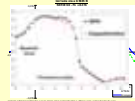
Documentación



Verificación

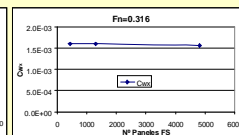
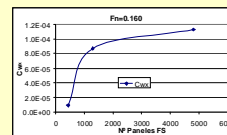


Validación



27

Verificación



28

Validación = determinación de la verdadera magnitud del error cometido a través de la comparación con:

Datos experimentales

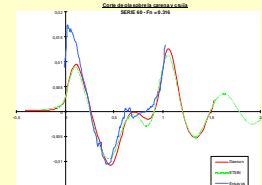
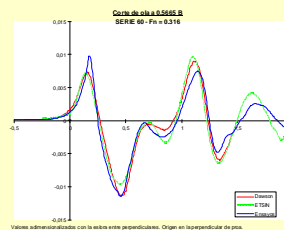


Resultados numéricos suficientemente constatados



29

Validación



30

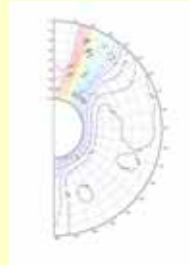
Validación: Código viscoso



No se puede mostrar la imagen. Puede que el equipo no tenga suficiente memoria para abrir la imagen o que esta esté dañada. Reinicie el equipo y, a continuación, abra el archivo de nuevo. Si sigue apareciendo la x roja, puede que tenga que borrar la imagen e insertarla de nuevo.



Validación: ANSYS-CFX



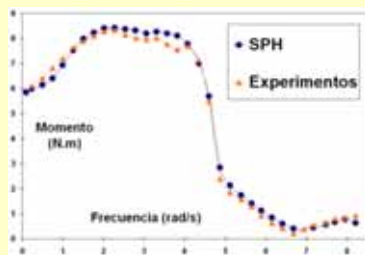
CEHIPAR



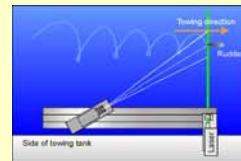
ETSIN



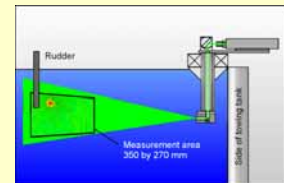
Validación: SPH-ETSIN



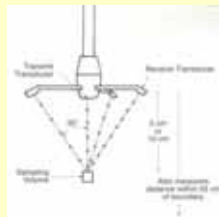
Equipos de medida (PIV)_2



Análisis de un timón



Equipos de medida (ADV)



35

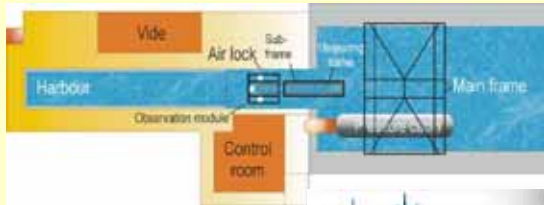
Nuevas instalaciones (MARIN_0)



Nuevas instalaciones (MARIN_1)



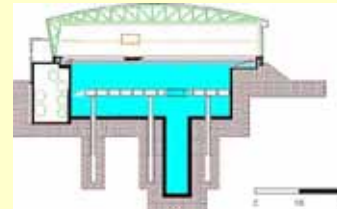
Canal despresurizado



Nuevas instalaciones (MARIN_2)



Canal offshore



38

Nuevas instalaciones (B600)



545m x 15m x 7m



Nuevas instalaciones



Australian Maritime College
Cavitation tunnel



Australian Maritime College
Shallow Water Basin

40



Buque



Canal de ensayos



CFD



Nueva filosofía de proyecto



The winner
is.....



42

Consideraciones finales

- Los Canales de ensayo han sido y son un punto fundamental en el conocimiento de la hidrodinámica del buque.
- La llegada de los ordenadores ha potenciado si cabe a los canales de ensayo.
- El conocimiento humano siempre requerirá "experimentar" y "observar"



¿Alguna pregunta?

44

Gracias

45